



UNIVERSITY OF BAYREUTH

Department of Micrometeorology

**Ultraschallanemometer-Überprüfung
im Windkanal
der TU Dresden

2007**

**Lukas Siebicke
Andrei Serafimovich**

**Arbeitsergebnisse
Nr. 30
Bayreuth, April 2007**

Arbeitsergebnisse, Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie, Print, ISSN 1614-8916
Arbeitsergebnisse, Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie, Internet, ISSN 1614-8924
<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/mm/>

Eigenverlag: Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie
Vervielfältigung: Druckerei der Universität Bayreuth
Herausgeber: Prof. Dr. Thomas Foken

Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie
D-95440 Bayreuth

Die Verantwortung über den Inhalt liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Experimentaufbau	4
2.1	Geräte	4
2.2	Windkanal	5
2.3	Messprogramm.....	5
2.4	Datenverarbeitung	7
3	Ergebnisse	7
4	Diskussion	12
5	Schlussfolgerungen	12
	Literatur	12

1 Einleitung

Vorliegendes Dokument beschreibt die Überprüfung von vier Ultraschallanemometern im Windkanal. Ziel der Untersuchung war die Kontrolle des technischen Zustands der Geräte, um Fehler und Schäden auszuschließen, die möglicherweise im mehrjährigen Betrieb aufgetreten sein könnten. Es sollte die Einsatzbereitschaft für anstehende Forschungsexperimente getestet werden, insbesondere COPS und EGER. Vorliegende Untersuchung aktualisiert die Arbeit von Mauder (2002), der mit z. T. den gleichen Geräten im selben Windkanal gearbeitet hat.

2 Experimentaufbau

2.1 Geräte

Untersucht wurden drei Geräte vom Typ CSAT3 (Campbell Scientific), Abb. 1, und ein USA-1 (Metek), Abb. 3. Im Folgenden wird von Komplex 1 bis Komplex 4 gesprochen mit der in Tabelle 1 angegebenen Zuordnung der Geräte. Zusätzlich wurde zur Simulation von typischen Strömungsbedingungen während Feldeinsätzen der Komplex 1 mit einem Infrarot-Gasanalysator vom Typ LICOR-7500 (Licor, Inc.) (nicht angeschlossen) und der Halterung für einen schnellen Platintemperatursensor vom Typ AIR 150 bestückt. Die verwendeten Gerätehalterungen entsprechen weitgehend den im Feld verwendeten. Die Komplexe 1 bis 3 waren mit Inklinometern bestückt (nicht angeschlossen). Die Gerätemontage erfolgte auf einem Rohrmast (Komplex 1-3 mit Ausleger), siehe hierzu Abb. 1-4. Der Rohrmast wurde auf einer zu diesem Zweck angefertigten Plattform montiert, die verschiedene Neigungswinkel zulässt. Diese Platte wiederum wurde auf einer windkanaleigenen, drehbaren Plattform montiert, die vom Windkanal angesteuert wurde.

Für den Komplex 1+Licor gelten für die Abstände der beiden Geräte:

- Abstand Messstreckenmitte CSAT3 zur Messstreckenmitte LICOR7500: 25 cm,
- LICOR7500 5 cm tiefer als CSAT3,
- LICOR7500 bei Ausrichtung des CSAT3 nach Norden auf der Westseite,
- Abstand CSAT3 Messstreckenmitte zu Platin-Temperaturfühler (nur Halterung montiert): 5 cm.

Tabelle 1: Messgeräte und Komplexzuordnung

Komplex	Gerätetyp	Hersteller	Seriennummer/ Inventar
Komplex 1	CSAT3	Campbell Sci.	0235-2 /
Komplex 2	CSAT3	Campbell Sci.	/ 68285
Komplex 3	CSAT3	Campbell Sci.	0322-2 / 68286
Komplex 4	USA-1	Metek	99-05007 /
Komplex 1+Licor	CSAT3 + LICOR7500	Campbell Sci. + Licor Inc.	0235-2 / 75H-0220 /

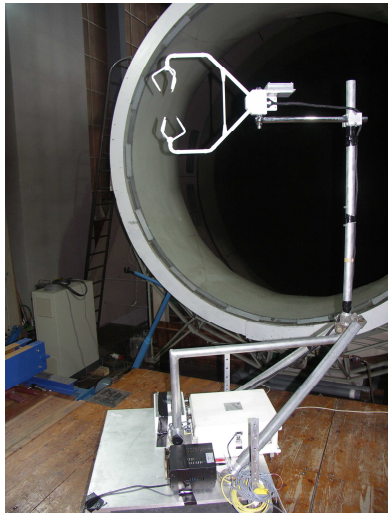


Abb. 1: CSAT3 (Campbell)

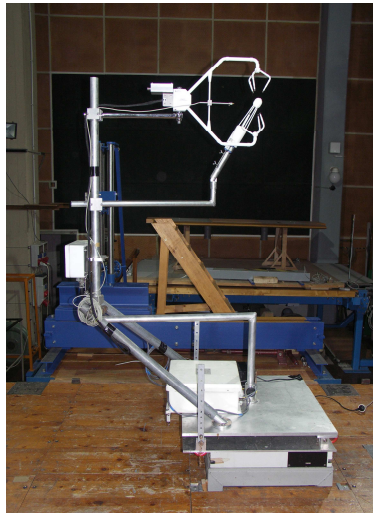


Abb 2: CSAT3 mit LICOR7500

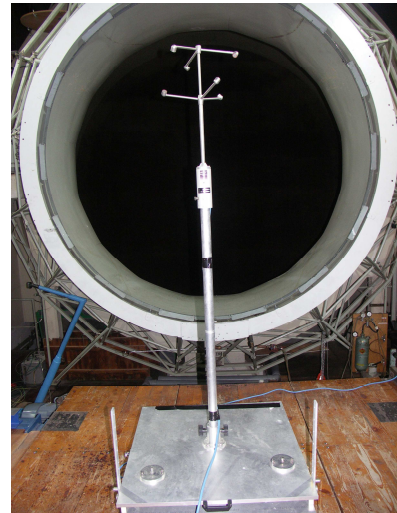


Abb. 3: USA-1 (Metek)

2.2 Windkanal

Die Messungen wurden im Niedergeschwindigkeitswindkanal der TU-Dresden durchgeführt. Einige technische Daten des Kanals sind Mauder (2002), S. 37, zu entnehmen. Die wichtigsten Eckdaten: offene Messstrecke, max. Strahlggeschwindigkeit: 40 m/s bei 3 m Strahldurchmesser bzw. 60 m/s bei 2 m Strahldurchmesser; Turbulenzgrad 0,1 bis 0,5 %; Länge der freien Messstrecke 4,5 m.

Die Definition des Koordinatensystems im Windkanal ist Abb. 5 zu entnehmen.

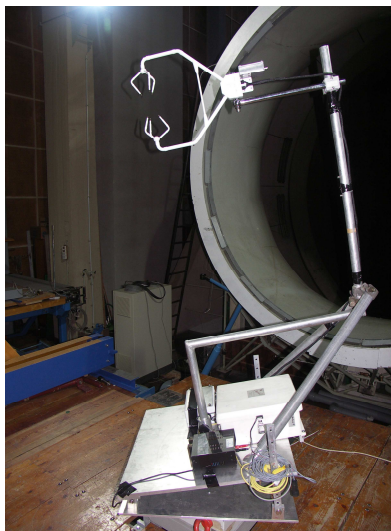


Abb. 4: CSAT3, geneigt

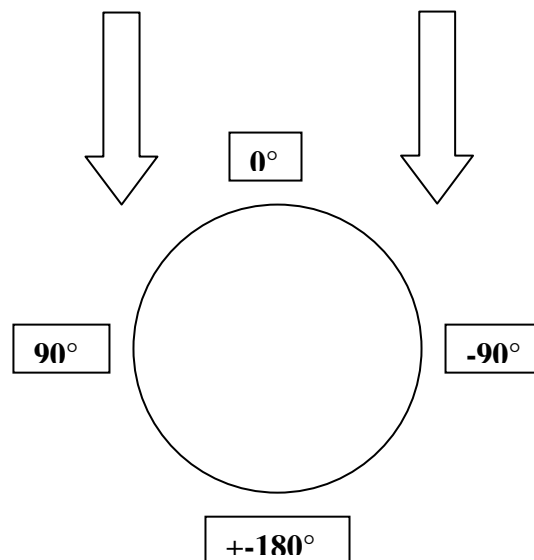


Abb. 5: Definition Koordinatensystem Windkanal.

2.3 Messprogramm

Die in Tabelle 1 aufgelisteten Komplexe wurden nacheinander unter Veränderung von drei Variablen vermessen. Dies sind Windgeschwindigkeit, Anströmwinkel und Neigung. Das Messprogramm, das sich aus der Kombination der Komplexe und genannten Variablen ergibt, ist in Tabelle 2 im Detail dargestellt. Der Komplex 1+Licor wurde mit zwei unterschiedlichen Ausrichtungen des Licor vermessen, nämlich erstens Licor7500 in paralleler Ausrichtung zum CSAT3 und zweitens rechtwinklig zum CSAT3.

Tabelle 1: Messprogramm

Prozedur	Geräte	Neigung	Geschwindigkeit	Anströmwinkel	Schrittweite	Dateiname (Windkanal) (Windkanalmessungen_27042007/...)	Verzeichnis und Dateiname (CSAT3 und USA-1)	Start	End
1.	CSAT3 (Turbulenz1) (without T sensor)	0°	2 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_1_N00_G02_A180_S10.erg	Turbulenz1 / DR0003.dat	07:24:10 /27.04.07/	07:39:44 /27.04.07/
2.		0°	5 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_1_N00_G05_A180_S10.erg	Turbulenz1 / DR0004.dat	07:58:13 /27.04.07/	08:13:41 /27.04.07/
3.		0°	10 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_1_N00_G10_A180_S10.erg	Turbulenz1 / DR0005.dat	08:49:53 /27.04.07/	09:05:02 /27.04.07/
4.		5°	5 m/s	± 120°	10°	CSAT3_Turb_1_N05_G05_A120_S10.erg	Turbulenz1 / DR0006.dat	09:20:28 /27.04.07/	09:30:50 /27.04.07/
5.		10°	5 m/s	± 120°	10°	CSAT3_Turb_1_N10_G05_A120_S10.erg	Turbulenz1 / DR0007.dat	09:34:43 /27.04.07/	09:44:58 /27.04.07/
6.	CSAT3 (Turbulenz2) (without T sensor)	0°	2 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_2_N00_G02_A180_S10.erg	Turbulenz2 / DR0008.dat	10:16:45 /27.04.07/	10:31:53 /27.04.07/
7.		0°	5 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_2_N00_G05_A180_S10.erg	Turbulenz2 / DR0009.dat	10:37:40 /27.04.07/	10:52:32 /27.04.07/
8.		0°	10 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_2_N00_G10_A180_S10.erg	Turbulenz2 / DR0010.dat	10:57:50 /27.04.07/	11:12:54 /27.04.07/
9.		5°	5 m/s	± 120°	10°	CSAT3_Turb_2_N05_G05_A120_S10.erg	Turbulenz2 / DR0011.dat	11:20:50 /27.04.07/	11:31:13 /27.04.07/
10.		10°	5 m/s	± 120°	10°	CSAT3_Turb_2_N10_G05_A120_S10.erg	Turbulenz2 / DR0012.dat	11:36:52 /27.04.07/	11:46:52 /27.04.07/
11.	CSAT3 (Turbulenz3) (without T sensor)	0°	2 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_3_N00_G02_A180_S10.erg	Turbulenz3 / DR0013.dat	12:06:30 /27.04.07/	12:23:11 /27.04.07/
12.		0°	5 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_3_N00_G05_A180_S10.erg	Turbulenz3 / DR0014.dat	12:31:20 /27.04.07/	12:47:00 /27.04.07/
13.		0°	10 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Turb_3_N00_G10_A180_S10.erg	Turbulenz3 / DR0015.dat	12:52:40 /27.04.07/	13:07:43 /27.04.07/
14.		5°	5 m/s	± 120°	10°	CSAT3_Turb_3_N05_G05_A120_S10.erg	Turbulenz3 / DR0016.dat	13:13:05 /27.04.07/ (exact time)	13:23:14 /27.04.07/ (exact time)
15.		10°	5 m/s	± 120°	10°	CSAT3_Turb_3_N10_G05_A120_S10.erg	Turbulenz3 / DR0017.dat	13:26:46 /27.04.07/	13:36:56 /27.04.07/
16.	CSAT3 (Turbulenz1), Licor (with T sensor)	0°	5 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Licor_7500_0_Grad_N00_G05_A180_S10.erg	T1_Licor / DR0001.dat	15:50:41 /26.04.07/	16:06:02 /26.04.07/
17.	CSAT3 (Turbulenz1), Licor ⊥ (with T sensor)	0°	5 m/s	± 180°	10°	CSAT3_Licor_7500_90_Grad_N00_G05_A180_S10.erg	T1_Licor_90grad / DR0002.dat	16:16:31 /26.04.07/	16:31:53 /26.04.07/
18.	USA-1	0°	2 m/s	± 180°	10°	USA_1_N00_G02_A180_S10.erg	Metek-USA / DR0021.dat	14:32:15 /27.04.07/	14:47:37 /27.04.07/
19.		0°	5 m/s	± 180°	10°	USA_1_N00_G05_A180_S10.erg	Metek-USA / DR0018.dat	14:29:-- (WK time) 13:29:-- (laptop time) /27.04.07/	13:43:35 /27.04.07/
20.		0°	10 m/s	± 180°	10°	USA_1_N00_G10_A180_S10.erg	Metek-USA / DR0022.dat	14:53:40 /27.04.07/	15:08:50 /27.04.07/
21.		5°	5 m/s	± 180°	10°	USA_1_N05_G05_A180_S10.erg	Metek-USA / DR0019.dat	13:47:29 /27.04.07/	14:02:34 /27.04.07/
22.		10°	5 m/s	± 180°	10°	USA_1_N10_G05_A180_S10.erg	Metek-USA / DR0020.dat	14:07:20 /27.04.07/	14:22:29 /27.04.07/

2.4 Datenverarbeitung

Die Messwerte der Windgeschwindigkeit der Komplexe 1-3 sowie Komplex 1+Licor wurden auf einem Campbell Logger CR23X aufgezeichnet und mit dem Programm PC208W von Campbell und einem MINI-ITX Computer vom Logger herunter geladen und gespeichert.

Die Messwerte des Komplexes 4 wurden mit Hilfe des Programms ‚Tcopy.exe‘ von Metek ohne Logger direkt auf einem Laptop aufgezeichnet (geht auf altem Abteilungslaptop an serieller Schnittstelle oder auf neuem Abteilungslaptop mit blauem USB-Seriell-Adapter am strichmarkierten USB-Port und Angabe von COM5 in Tcopy). Die Messwerte der Windgeschwindigkeit der Komplexe 1-3 wurden direkt in m/s aufgezeichnet, die des Komplexes 4 wurden später mit einem Matlab-Skript in m/s konvertiert.

Von der Belegschaft des Windkanals wurden die Kanalgeschwindigkeit und der Drehwinkel (Anströmrichtung) aufgezeichnet. Über die Zeitinformation der Anemometer- und Windkanalmesswerte konnten beide Messungen zusammengeführt werden (Matlab-Skript).

Alle Rohdaten der Messgerätekomplexe und des Windkanals sind in beiliegender zip-Datei zu finden. Ebenfalls dort befinden sich das Programm Tcopy mit Bediehnungsanleitung, die Matlab-Skripte zur Zeitsynchronisation und Konvertierung der mit Tcopy aufgezeichneten Rohdaten sowie die in diesem Bericht enthaltenen Abbildungen.

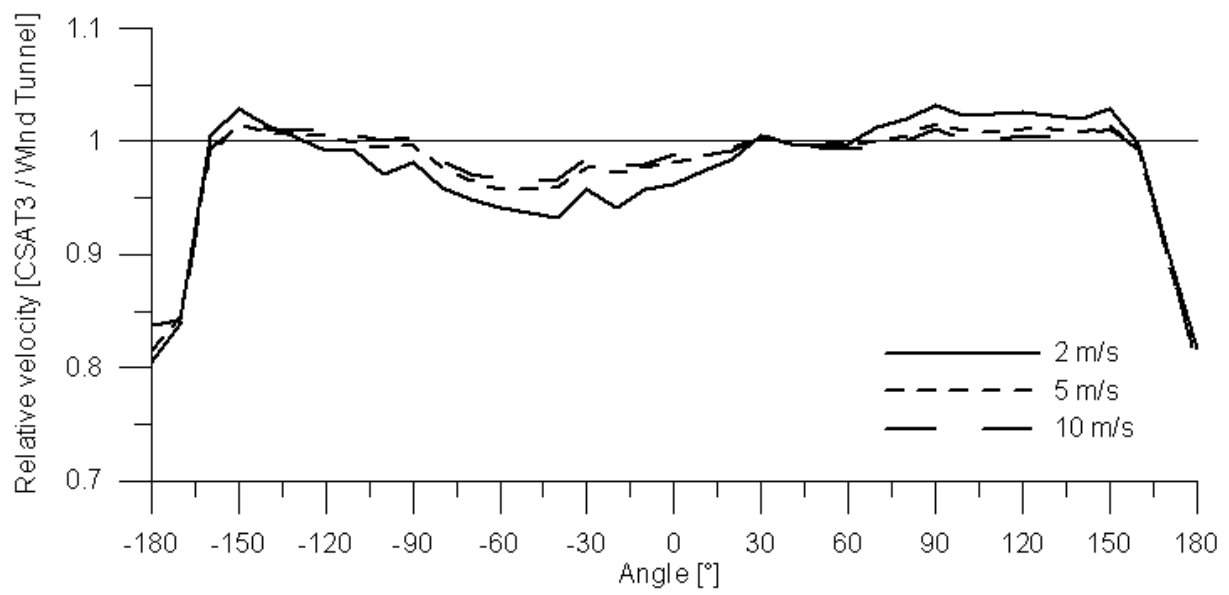
3 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden im Folgenden als Relativgeschwindigkeit der Ultraschallanemometermessung gegenüber der Windkanalgeschwindigkeit grafisch dargestellt. Die obere Teilabbildung zeigt jeweils den Einfluss unterschiedlicher Geschwindigkeiten (2, 5 und 10 m/s), die untere den Einfluss unterschiedlicher Neigungswinkel (0° , 5° , 10°) bei konstanter Geschwindigkeit (5 m/s).

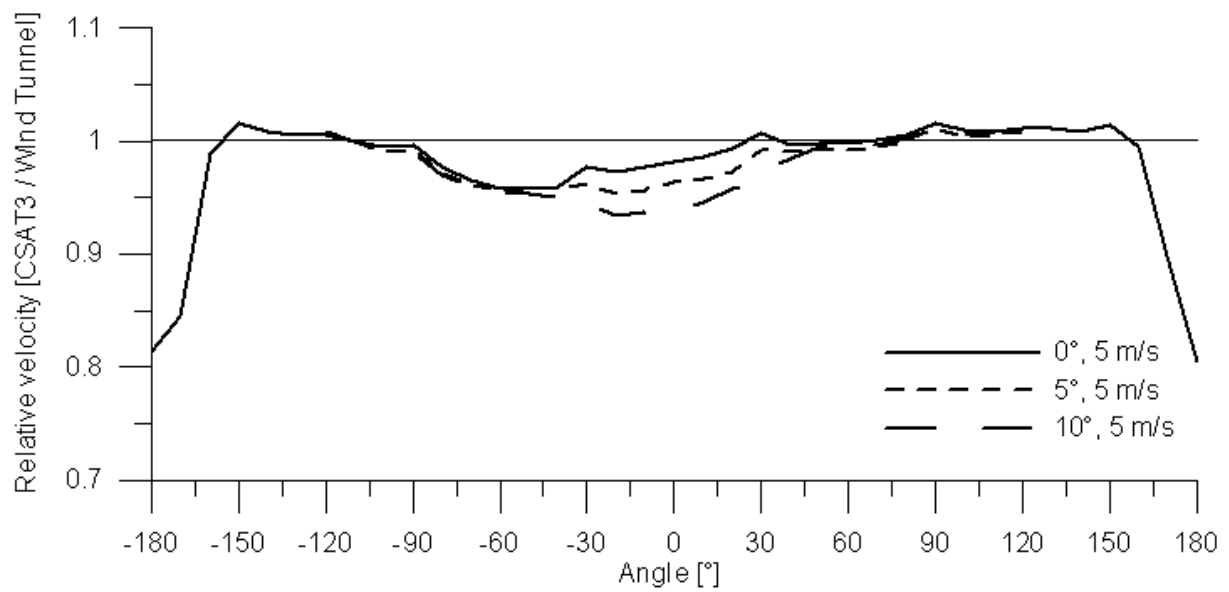
Es ergeben sich folgende Befunde:

- die Komplexe 1 bis 3 und 1+Licor (d. h. alle mit CSAT3) liefern gute Messungen in einem Sektor von -150° bis $+150^\circ$ oder etwas größer. Bei Rückanströmung kommt es zu starker Geschwindigkeitsunterschätzung.
- Alle Komplexe zeigen bei 5 und 10 m/s und horizontaler Ausrichtung eine maximale Abweichung der Geschwindigkeit von 4 %. Ausnahme: Komplex 1+Locor. Hier wird bei Queranströmung eine durch das Zusatzgerät (Licor7500) um ca. 15% reduzierte Geschwindigkeit gemessen.
- die Komplexe 1 bis 3 und 1+Licor zeigen bei frontaler Anströmung tendenziell eine leichte Unterschätzung und im Sektor von $\pm(90$ bis $150^\circ)$ eine leichte Überschätzung (max. 3%).
- bei Neigung werden die Abweichungen bei den Komplexen 1-3 bei frontaler Anströmung etwas größer (max. 8%), ähnlich bei Komplex 4.
- Die Messungen bei 2 m/s zeigen ein ähnliches Muster wie bei höheren Geschwindigkeiten, allerdings mit einem Versatz, der eine um bis zu fast 30 % zu geringe Geschwindigkeit zeigt. Dieser Versatz ist vermutlich auf eine zu geringe Windkanalgeschwindigkeit zurückzuführen. Siehe hierzu die Diskussion.

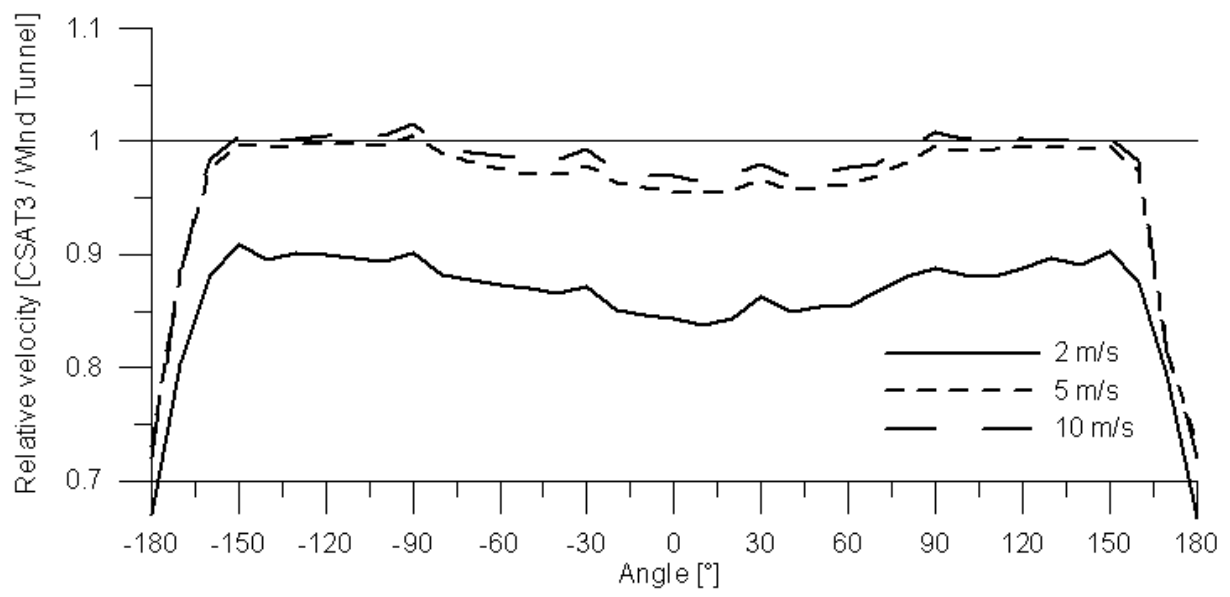
CSAT3 (Complex 1)



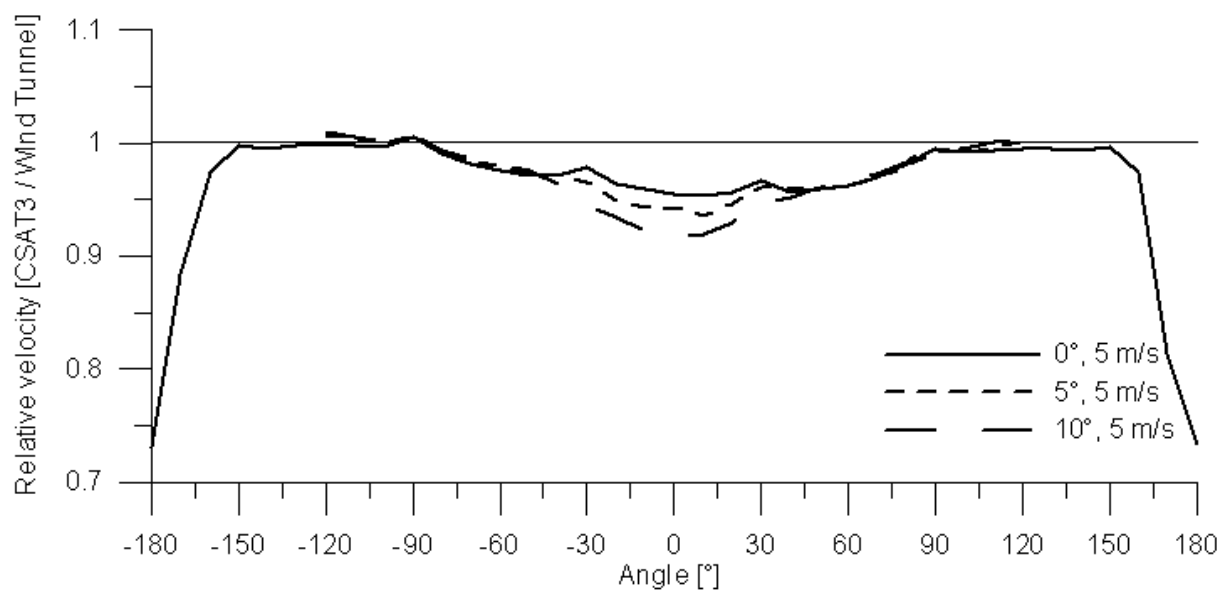
CSAT3 (Complex 1)



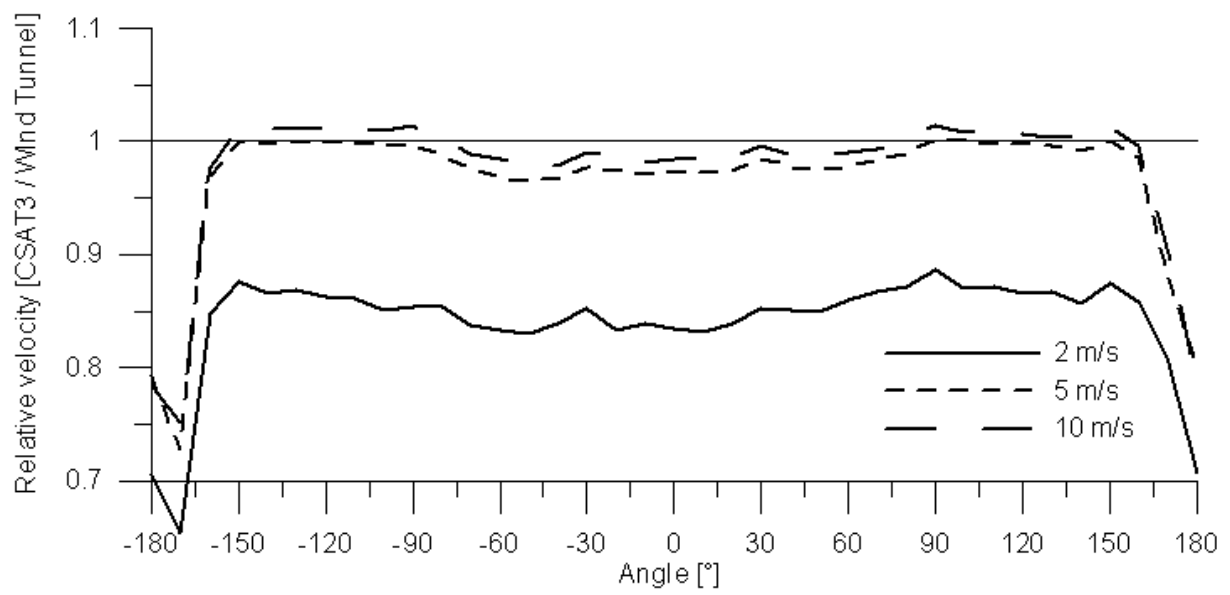
CSAT3 (Complex 2)



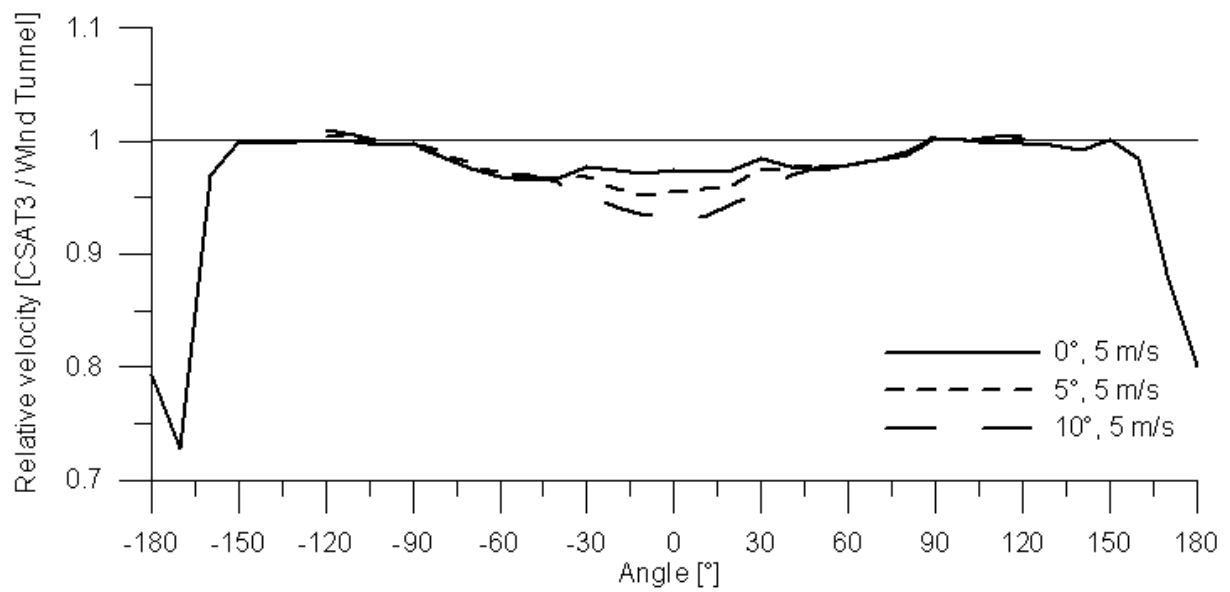
CSAT3 (Complex 2)



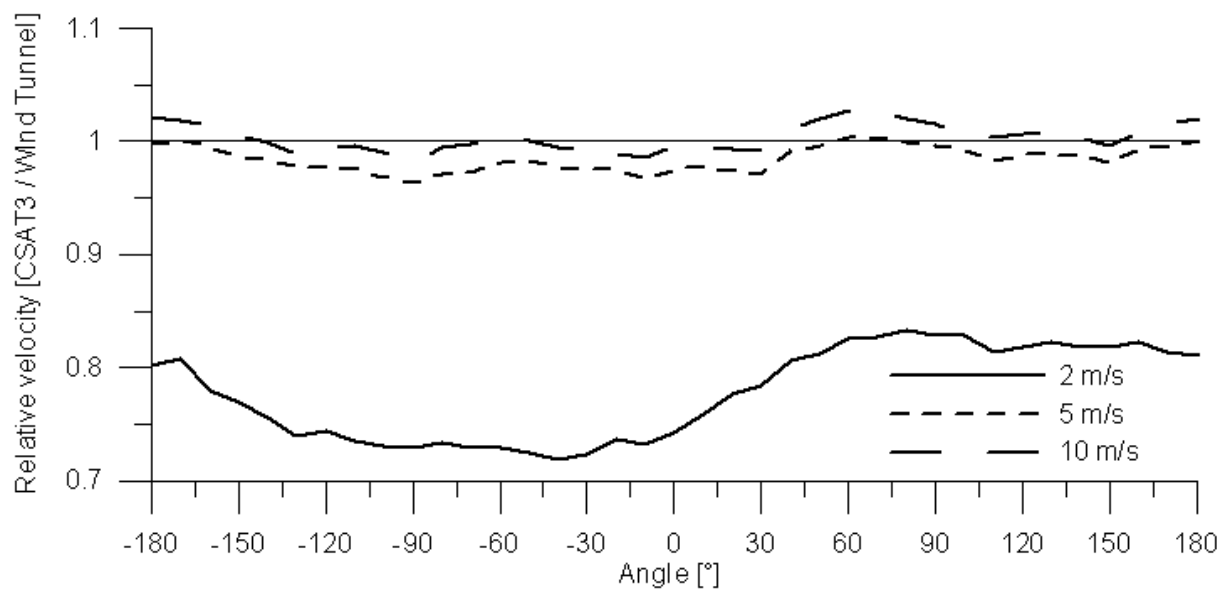
CSAT3 (Complex 3)



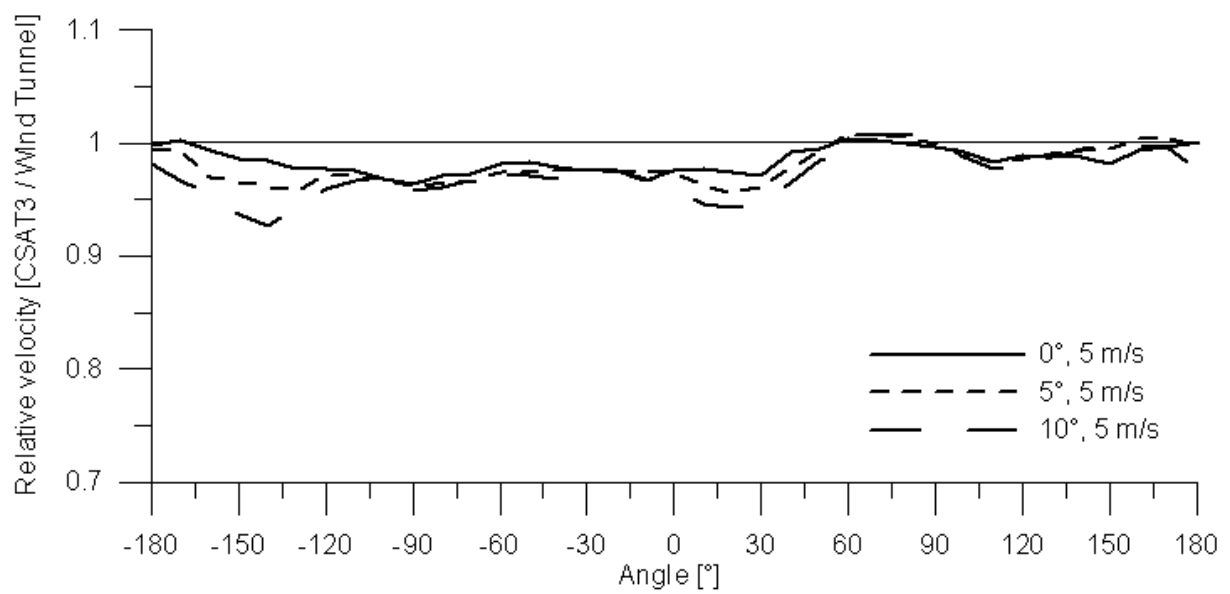
CSAT3 (Complex 3)

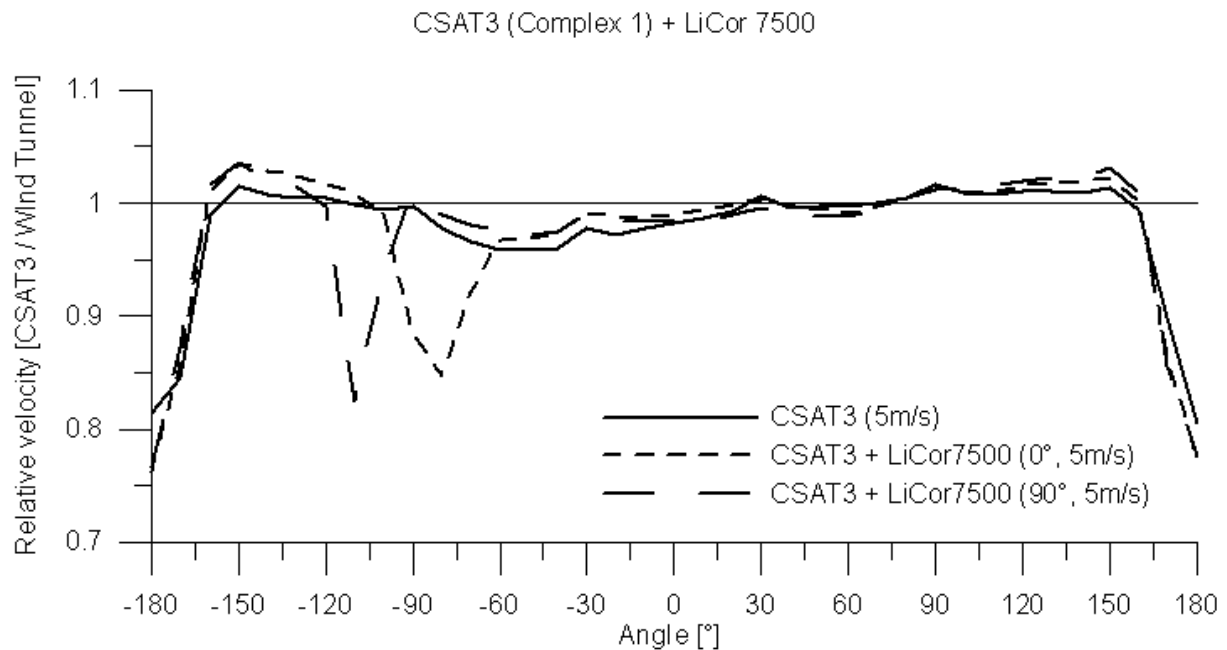


USA-1



USA-1





4 Diskussion

Folgende Bemerkungen liefern eine Interpretation für die zu geringe Windgeschwindigkeit der Messungen bei 2 m/s und sollten als Ratschläge für evtl. zukünftige Messungen beachtet werden:

- es stehen mehrere Druckdosen zur Verfügung zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit im Kanal. Es sollte auf Montage der Dose für geringe Geschwindigkeiten geachtet werden,
- zwischen den Messungen ist ein Nullabgleich gegen den Umgebungsdruck durchzuführen, um eine Drift der Messwerte zu vermeiden, wie sie in den Messungen bei 2 m/s am Freitag, 27.4. aufgetreten ist,
- aufgrund der nicht linearen Abhängigkeit von Prandlrohr-Staudruck und Windgeschwindigkeit wirken sich Messfehler wesentlich stärker auf die geringen Geschwindigkeiten aus,
- es sollte die Verfügbarkeit alternativer Messtechnik zur Bestimmung der Geschwindigkeit im Kanal geprüft werden, z. B. Hitzdrahtanemometer.

5 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass kein gravierendes Fehlverhalten der Ultraschallanemometer festgestellt wurde, was deren Einsatz bei Feldexperimenten einschränken würde. Bei den Komplexen 1-3 und 1+Licor ist die Störung bei rückwärtiger Anströmung zu berücksichtigen. Bei frontaler Anströmung ergibt sich eine geringe Unterschätzung der Geschwindigkeit. Der Komplex 4 mit Metek USA-1 zeigt etwa gleich gute Messungen wie die Komplexe mit CSAT3 Ultraschallanemometern.

Literatur

Mauder, M., 2002. Auswertung von Turbulenzmessgerätevergleichen unter besonderer Berücksichtigung von EBEX-2000. Diplomarbeit. Universität Bayreuth, 87 S.

Volumes in the series ,University of Bayreuth, Department of Micrometeorology, Arbeitsergebnisse'

No	Name	Titel	Date
01	Foken	Der Bayreuther Turbulenzknecht	01/99
02	Foken	Methode zur Bestimmung der trockenen Deposition von Bor	02/99
03	Liu	Error analysis of the modified Bowen ratio method	02/99
04	Foken et al.	Nachtfrostgefährdung des ÖBG	03/99
05	Hierteis	Dokumentation des Experimentes Dlouha Louka	03/99
06	Mangold	Dokumentation des Experiments am Standort Weidenbrunnen, Juli/August 1998	07/99
07	Heinz, Handorf, Foken	Strukturanalyse der atmosphärischen Turbulenz mittels Wavelet-Verfahren zur Bestimmung von Austauschprozessen über dem antarktischen Schelfeis	07/99
08	Foken	Comparison of the sonic anemometer Young Model 81000 during VOITEX-99	10/99
09	Foken et al.	Lufthygienisch-Bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales, Zwischenbericht 1999	11/99
10	Sodemann	Stationsdatenbank zum BStMLU-Projekt Lufthygienisch-Bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales	03/00
11	Neuner	Dokumentation zur Erstellung der meteorologischen Eingabedateien für das Modell BEKLIMA	10/00
12	Foken et al.	Dokumentation des Experimentes VOITEX-99	12/00
13	Bruckmeier et al.	Documentation of the experiment EBEX-2000, July 20 to August 24, 2000	01/01
14	Foken et al.	Lufthygienisch-Bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales	02/01
15	Göckede	Die Verwendung des footprint-Modells nach SCHMID (1997) zur stabilitätsabhängigen	03/01

		Bestimmung der Rauigkeitslänge	
16	Neuner	Berechnung der Evapotranspiration im ÖBG (Universität Bayreuth) mit dem SVAT-Modell BEKLIMA	05/01
17	Sodemann	Dokumentation der Software zur Bearbeitung der FINTUREX-Daten	08/02
18	Göckede et al.	Dokumentation des Experiments STINHO-1	08/02
19	Göckede et al.	Dokumentation des Experiments STINHO-2	12/02
20	Göckede et al.	Characterisation of a complex measuring site for flux measurements	12/02
21	Liebenthal	Strahlungsmessgerätevergleich während des Experimentes STINHO_1	01/03
22	Mauder et al.	Dokumentation des Experiments EVA_GRIPS	03/03
23	Mauder et al.	Dokumentation der Litfass-2003 und GRASATEM-2003 Experimente	
24	Thomas et al.	Dokumentation des WALDATEM-2003 Experimentes	05/04
25	Göckede et al.	Qualitätsbegutachtung komplexer mikrometeorologischer Messstationen im Rahmen des VERTIKO-Projekts	11/04
26	Mauder und Foken	Documentation and Instruction Manual of the Eddy Covariance Software Package TK2	12/04
27	Herold et al.	The OP-2 open path infrared gas analyser for CO ₂ and H ₂ O	01/05
28	Ruppert	ATEM software for Atmospheric Turbulent Exchange Measurements using Eddy Covariance and Relaxed Eddy Accumulation Systems and Bayreuth whole-air REA system setup	04/05
29	Foken (Hrsg.)	Klimatologische und mikrometeorologische Forschungen im Rahmen des Bayreuther Institutes für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK), 1989 – 2004	06/05
30	Siebicke, Serafimovich	Ultraschallanemometer-Überprüfung im Windkanal der TU Dresden 2007	04/07